ISSN 1561-5359. Штучний інтелект, 2018, № 3

УДК 621.642

О.С. Ковалевська
Донбаська державна машинобудівна академія, Україна
вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313

СИНТЕЗ ВИКОНАВЧИХ ЛАНОК МОБІЛЬНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МАШИН

O.S. Kovalevska
Donbass State Machine-Building Academy, Ukraine
72, St. Academic, Kramatorsk, 84313

SYNTHESIS OF EXPERIMENTAL LOCKS OF MOBILE INTELLIGENT MACHINES

У статті проведено аналіз існуючих методів вдосконалення структури механізмів з паралельною структурою. Розроблено новий підхід до проектування виконавчих ланок мобільних інтелектуальних машин. Цей підхід заснований на використанні графів з пов'язаністю Ейлерових і Гамільтона циклів, що охоплюють виконавчі ланки. Виявлено, що основною метою синтезу механізму є визначення розмірів механізму і положень його вхідної ланки, що найкращим чином відповідають вказаним умовам і забезпечують поєднання якісних показників структури системи. Сполучення класифікаційних ознак у межах їх змінюваних діапазонів дає можливість прогнозувати можливості обладнання механоскладальних цехів на основі механізмів паралельної структури.

Ключові слова: нейронні мережі, виконавчі ланки, структурний синтез

In the article the analysis of existing methods of improving the structure of mechanisms with a parallel structure is carried out. A new approach to the design of executive units of mobile intelligent machines is developed. This approach is based on the use of graphs with the Euler and Hamilton coupling of cycles involving executive branches. It is determined that the main objective of the mechanism synthesis is to determine the size of the mechanism and the provisions of its input, which best meet the specified conditions and provide a combination of qualitative indicators of the structure of the system. The combination of classification features within their changing ranges makes it possible to predict the possibilities of equipment of mechano-assembly shops on the basis of mechanisms of parallel structure.

Key words: neural networks, executive links, structural synthesis

Вступ

Основним законом існування і розвитку систем є закон цілісності [1,2]. Він зумовлює повне підпорядкування компонентного складу, структури, функції системи цілям, зокрема для технологічної системи – цілям виробництва. З цього закону випливають спеціальні закони, закономірності та принципи: забезпечення цільового або оптимального за параметрами цільової функції технологічного проектування; цільового управління; доцільного функціонування без відмов системи, а також розвитку технологічної системи. Виконання цього закону, закономірностей і принципів, що прямують з нього, дозволяє усунути диспропорції в технологічній системі, забезпечує відповідність компонентного складу системи всієї сукупності (ієрархії) цілей і досягнення найбільш бажаних станів виробництва.

Постановка проблеми

Під структурним синтезом розуміється визначення найкращої структури механізмів паралельної структури, що відповідає заданим умовам. Структура механізму, у свою чергу, визначається взаємним розташуванням, типом (у деяких випадках кількістю) рухомих плечей механізмів паралельної структури, шарнірів, приводів. Актуальним завданням для удосконалення методів проектування, діагностики та управління автоматизованим верстатним устаткуванням на базі механізмів з паралельною структурою є розробка теоретичних основ вдосконалення структури перспективних верстатних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Основні підходи, які використовуються для вирішення завдань структурного синтезу:

1. Синтез на основі формул рухливості [2] з використанням формул рухливості, де визначається число ланок, число, клас і порядок розташування паралельних кінематичних пар паралельного робота. Підхід відрізняється відносною простотою, але не бере до уваги геометрію розміщення кінематичних пар, а так само при такому підході відсутня важливість раціонального вибору розміщення кінематичних пар з урахуванням траєкторії виконавчої ланки.
2. Синтез на основі кінематичних груп [4]. Даний підхід враховує вплив тієї чи іншої структури на геометричні властивості механізму. Він дозволяє в певній частці автоматизувати синтез. До обмежень використання даного підходу можна віднести необхідність збереження у процесі синтезу відповідних груп рухів.
3. Синтез на основі геометрії кінематичних ланцюгів [5]. Даний підхід дозволяє вибирати структуру, виходячи з бажаної форми обсягу робочого простору. Він носить оціночний характер для спрощення математичного апарату.
4. Синтез на основі кінематичної геометрії. При виборі структури робота враховуються геометричні умови (число ступенів свободи, взаємне розташування) і параметри ланок. Такі завдання вирішуються з використанням теорії гвинта [6,7]. Але одержувані залежності є досить складними і важко формалізуються.
5. Реконфігурація. Суть методу полягає у зміні кінематичних структур існуючих ланцюгів або з'єднанні декількох структур ланцюгів, як правило, не більше двох. У [8,9,10] ці операції не мають будь-якого теоретичного опису і виконуються, виходячи з логічних міркувань. Реконфігурацію доцільно використовувати як заключний етап інших методів для внесення змін до конструкції ланцюгів механізму.
6. Кінематична розв'язка рухів. Як зазначено вище, взаємопов’язаність рухів приводів безпосередньо відбивається на точності позиціонування платформи, а повна розв'язка рухів часто призводить до зменшення жорсткості виконавчого механізму, тому останнім часом розглядаються питання часткової розв'язки [11,12].

У зв’язку з викладеним, підвищення продуктивності машинобудівного виробництва при недостатніх можливостях верстатного обладнання здійснюється, наприклад, через багаторазове перебазування деталей, коли ставляться завдання забезпечення підвищеної точності позиціонування об'єкта обробки і технологічних, у тому числі і формотворчих, рухів виконавчого органу верстата, що забезпечує інструментальну функцію [13,14,15].

Мета дослідження

Розробка нового підходу до проектування виконавчих ланок мобільних інтелектуальних машин на основі структурного аналізу.

Виклад основного матеріалу

Структурний синтез передбачає наступним етапом проведення параметричного синтезу системи. Під параметричним синтезом розуміється вибір оптимальних параметрів робота, що відповідають заданим умовам. Параметричний синтез паралельних роботів являє собою широку область досліджень і має ряд особливостей, які необхідно враховувати. Наприклад, деякі критерії, які використовуються при параметричному синтезі, є конфліктними. Прикладом таких критеріїв можуть служити точність і обсяг робочої області робота: роботи мають велику точність, невеликий робочий простір і навпаки. Тому при параметричному синтезі завжди доводиться вибирати компромісне рішення. Зокрема, до підходів параметричного синтезу відносяться: апроксимаційний метод,

апроксимаційно-інтернаціональний метод, функціональні методи, метод на основі нейроподібних мереж, корекція на люфт, компенсація теплових деформацій [16, 17, 18]. В роботі [19] доведена перспективність застосування методу зв'язкових графів для оптимізації структури механізмів паралельної структури, оскільки він наділений інваріантністю до фізичної природи об'єктів дослідження, що розширює можливості інженерного аналізу і моделювання динаміки механізмів з кінематикою паралельної структури. Але цей метод потребує критичного аналізу і створення більш перспективного підходу.

Одним з варіантів таких підходів є статичні розрахунки конструкцій, стійкості деформованого стану систем, динаміки, теплопередачі і механіки, застосовують метод кінцевих елементів. Метод заснований на апроксимації безперервної функції, визначеної на всій області дискретної моделі за допомогою кусково-неперервних функцій, визначених на підгалузях (кінцевих елементах) [20]. Кінцеві елементи, які використовуються для дискретизації розглянутої області, зазвичай групуються за топологічними ознаками: сегментами, трикутниками, чотирикутниками, тетраедрами, паралелепіпедами, призмами і т. д. Найбільш простими є одномірні, двомірні (трикутники і чотирикутники) і тримірні (тетраедри і паралелепіпеди) елементи. З двомірних елементів найпростішим є трикутник, оскільки між двома вузлами шукана функція змінюється лінійно уздовж кожної з його сторін. Шукану функцію для кожного елемента апроксимують поліномом [21].

Основний принцип, сформульований Л. Ейлером для плоского графа, свідчить про те, що якщо всі вершини графа парні, то можна, не відриваючи олівця від паперу, накреслити граф, при цьому можна починати з будь-якої вершини графа і завершити його в тій же вершині [22]. Також, принцип тензорного обчислення [23] будується на основі векторного обчислення та теорії матриць, що є математичним відображенням складних графів. А мета синтезу механізму – визначення розмірів механізму і положень його вхідної ланки найкращим чином відповідають указаним умовам і забезпечують поєднання якісних показників структури системи [24].

При дослідженні важільних механізмів застосовують 3 підходи: динамічний (коли задані діючі сили або накладені деякі обмеження на динамічні параметри), геометричний (коли задані окремі положення ланок або траєкторії окремих точок) і кінематичний (коли задані деякі швидкості, прискорення або їх співвідношення), що відповідають шуканій структурі системи, що створюється [25].

Метод зв'язкових графів успішно застосовується в задачах математичного моделювання динаміки різних технічних систем, включаючи багатоланкові кінематичні пари, маніпулятори, промислові роботи [26,27]. Цей підхід передбачає наступну послідовність дій:

1) методом зв'язкових графів отримати загальне рівняння динаміки механічної системи, яка складається з довільного числа твердих тіл, що утворюють між собою поступальні і обертальні кінематичні пари;
2) на основі заданої геометричної моделі конкретного механізму визначити число функціональних перетворювачів і їх коефіцієнти;
3) на основі загального рівняння з урахуванням інформації про інерційно-масові параметри ланок заданого механізму і діючих на нього сил, а також з урахуванням інформації про функціональні перетворювачі, отримати рівняння динаміки заданого механізму.

Актуальним напрямком є проектування верстатів з механізмами паралельної структури, заснованої на використанні шарнірних механізмів. Безліч різних конструкцій можна класифікувати за такими компонувальними ознаками: за видом штанг; за кількістю штанг; за

характером розташування шарнірів на платформі і підставі тощо [28]. Конструкції типу ферма – це стрижнева система в будівельній механіці – залишаються геометрично незмінними при оснащенні стрижнів шарнірами. В елементах ферми, за відсутності розцентрування стрижнів і позавузлового навантаження, виникають тільки зусилля розтягування-стиснення [29].

В основу систематизації факторів з урахуванням принципів мобільності і відповідного рівня автоматизації покладені умови системно-структурного перетворення об'єктів технології. При цьому врахований основний закон існування і розвитку виробничих систем – закон доцільної єдності цілісності [2]. Він зумовлює повне підпорядкування компонентного складу, структури, функції технологічної системи мети виробництва. З цього закону випливають спеціальні закони, закономірності та принципи: забезпечення цільового або оптимального за параметрами цільової функції технологічного проектування; цільового управління; доцільного функціонування без відмов системи, а також розвитку технологічної системи. Виконання цього закону, закономірностей і принципів, що прямують з нього, дозволяє усунути диспропорції в технологічній системі, забезпечує відповідність компонентного складу системи всієї сукупності (ієрархії) цілей і досягнення найбільш бажаних станів виробництва.

Прояв закону доцільної цілісності характеризується різним рівнем відповідності між об'єктами будови системи. Він виражається тотожністю виробничої структури і будови компонентного складу, що служить своєрідним мультиплікатором ефективності виробництва машинобудівної продукції. Однак, у технологічному циклі виробництва повинні вирішуватися різні завдання, пов'язані єдиним виробничим процесом, але забезпечують, як правило, не одну, а декілька локальних цілей (заготівельне виробництво, механообробка, складання, логістика тощо), що висуває додаткові проблеми узгодження цілей, виділення з них головних, декомпозиції цілей на завдання, забезпечення відповідності структури названій безлічі цілей і завдань. Вирішення цієї проблеми здійснюється з урахуванням використання приватних законів і закономірностей, які формують принципи композиції і пропорційності. Не-відповідність частин цілого, його компонентного складу або структури цілям забезпечення технологічного процесу викликає диспропорції, які знижують ефективність виробництва.

Висновки

Автором запропоновано фасетну систему класифікації механізмів паралельної структури, на основі яких показано безліч варіантів їх структур. Сполучення класифікаційних ознак у межах їх змінюваних діапазонів дає можливість прогнозувати можливості обладнання механоскладальних цехів на основі механізмів паралельної структури.

Внаслідок цього отримали розвиток методи аналізу структури механізмів паралельної структури з використанням ознак пов'язаності графів механізмів паралельної структури, матриць їх інцидентності і запропонованого методу потенціалів. Доведено, що такі структури мають графи з пов'язаністю, Ейлерових і Гамільтона цикли, що охоплюють виконавчі ланки. Це підтверджує визначальний вплив виконавчих ланок механізмів паралельної структури на їх динамічні властивості.

Література

1. Shannon, C.A. (2008) Mathematical Theory of Communication. *Bell System Tech*, 27, pp. 379–423.
2. Селиванов, С.Г., Гузаиров, М.Б. (2012) *Системотехника инновационной подготовки производства в машиностроении*. М.: Машиностроение.
3. Саркисян, Ю.Л. (2008) *Аппроксимационный синтез механизмов*. М.: Наука.
4. Herve, J.M. (2005) Group mathematics and parallel link mechanisms. *Theory of Machines and Mechanisms*, pp. 2079–2082.
5. Andersen, A., Rösiö, C., Bruch, J., Jacksonc, M. (2016) Reconfigurable Manufacturing – An

Enabler for a Production System Portfolio Approach. *Procedia CIRP*, 52. P. 139– 144.
6. Aubry, S. (1997) Breathers in nonlinear lattices: Existence, linear stability and quantization. *Physica*, 103. P. 201–250.
7. Automation Studio. Available from: http://www.automationstudio.com/
8. Do, W.Q. (2008) Dynamic Analysis and Simulation of a Platform Type of Robot. *Robot. Syst*, 3, pp. 209– 227.
9. Глазунов, В.А., Данилин, П.О., Левин, С.О. (2010) Разработка механизмов параллельной структуры с кинематической и динамической развязкой. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2, 23– 32 с.
10. Clavel, R. (1988) DELTA, a fast robot with parallel geometry. *Industrial Robot*, pp. 91–100.
11. Бушуев, В.В., Хольшев, И.Г. (2001) Механизмы параллельной структуры в машиностроении. *СТИН*,1, 3–8 с.
12. Афонин, В.Л., Базров, Б.М., Ковалев, Л.К., Крайнев, А.Ф. (1998) Пространственные механизмы параллельных соединений как элементная база нового поколения станков. *Вестник машиностроения*, 2, 8–11 с.
13. Равани, Б., Рот, Б. (2003) Синтез движения с использованием кинематических отображений. *Конструирование и технология машиностроения*, 3, 247–255 с.
14. Яковлев, А.В. (2009) Моделирование и отображение кинематики движения пространственных механизмов. *Машиноведение*, 5, 12–17 с.
15. Кузьмин, Д.В. (2008) *Моделирование динамики мехатронных систем. Уравнения и алгоритмы: монография*. А.: Арханг.
16. Трушин, С.І. (2008) *Метод кінцевих елементів. Теорія і задачі.* В.: АСВ.
17. Лісейкін, В.Д. (2014) *Різницеві сітки. Теорія і додатки*. Н.: Соран.
18. Коловський, М.З., Євграфов, А.Н., Семенов, А.В. (2008) *Теорія механізмів і машин*. М.: Академія.
19. Кузьмин, Д.В. (2002) Сравнительный анализ динамики двухзвенных манипуляторов с распределенными и сосредоточенными массами звеньев. *Вопросы технологии, эффективности производства и надежности*, 19, 43–48 с.
20. Щелкунова, М.Є., Саріпов, М.Ю. (2015) Автоматизація проектування механізмів паралельної структури. *Фундаментальні дослідження*, 2,748 –752 с.
21. Будур, А.И., Белогуров, В.Д. (2010) *Стальные конструкции*. К.: Сталь.

References

1. Shannon, C.A. (2008) Mathematical Theory of Communication. *Bell System Tech*, 27, pp. 379–423.
2. Selivanov, S.G., Guzairov, M.B. (2012) *Sistemotekhnika innovatsionnoy podgotovki proizvodstva v mashinostroenii*. M.: Mashinostroenie.
3. Sarkisyan, Yu.L. (2008) *Approksimatsionnyy sintez mekhanizmov*. M.: Nauka.
4. Herve, J.M. (2005) Group mathematics and parallel link mechanisms. *Theory of Machines and Mechanisms*, pp. 2079–2082.
5. Andersen, A., Rösiö, C., Bruch, J., Jacksonc, M. (2016) Reconfigurable Manufacturing – An Enabler for a Production System Portfolio Approach. *Procedia CIRP*, 52. P. 139– 144.
6. Aubry, S. (1997) Breathers in nonlinear lattices: Existence, linear stability and quantization. *Physica*, 103. P. 201–250.
7. Automation Studio. Available from: http://www.automationstudio.com/
8. Do, W.Q. (2008) Dynamic Analysis and Simulation of a Platform Type of Robot. *Robot. Syst*, 3, pp. 209– 227.
9. Glazunov, V.A., Danilin P.O., Levin S.O. (2010) Razrabotka mekhanizmov parallel'noy struktury s kinematicheskoy i dinamicheskoy razvyazkoy. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin*, 2, 23– 32 s.
10. Clavel, R. (1988) DELTA, a fast robot with parallel geometry. *Industrial Robot*, pp. 91–100.
11. Bushuev, V.V., Khol'shev, I.G. (2001) Mekhanizmy parallel'noy struktury v mashinostroenii. STIN, 1, 3–8 s.
12. Afonin, V.L., Bazrov, B.M., Kovalev, L.K., Kraynev, A.F. (1998) Prostranstvennye mekhanizmy parallel'nykh soedineniy kak elementnaya baza novogo pokoleniya stankov. *Vestnik mashinostroeniya*, 2, 8–11 s.
13. Ravani, B., Rot, B. (2003) Sintez dvizheniya s ispol'zovaniem kinematicheskikh otobrazheniy. *Konstruirovanie i tekhnologiya mashinostroeniya*, 3, 247–255 s.
14. Yakovlev, A.V. (2009) Modelirovanie i otobrazhenie kinematiki dvizheniya prostranstvennykh mekhanizmov. *Mashinovedenie*, 5, 12–17 s.
15. Kuz'min, D.V. (2008) *Modelirovanie dinamiki mekhatronnykh sistem. Uravneniya i algoritmy: monografiya*. A.: Arkhang.
16. Trushyn, S.I. (2008) *Metod kintsevykh elementiv*. Teoriya i zadachi. V.: ASV.
17. Liseykin, V.D. (2014) *Riznytsevi sitky. Teoriya i dodatky*. N.: Soran.
18. Kolovs'kyy, M.Z., Yevhrafov, A.N., Semenov, A.V. (2008) *Teoriya mekhanizmiv i mashyn*. M.: Akademiya.
19. Kuz'min, D.V. (2002) Sravnitel'nyy analiz dinamiki dvukhzvennykh manipulyatorov s raspredelennymi i sosredotochennymi massami zven'ev. *Voprosy tekhnologii, effektivnosti proizvodstva i nadezhnosti*, 19, 43–48 s.
20. Shchelkunova, M.Ye., Sarilov, M.Yu. (2015) Avtomatyzatsiya proektuvannya mekhanizmiv paralel'noyi struktury. *Fundamental'ni doslidzhennya*, 2, 748 –752 s.
21. Budur, A.I., Belogurov, V.D. (2010) *Stal'nye konstruktsii*. K.: Stal'.

RESUME

O.S. Kovalevska

Synthesis of executive parts of mobile intelligent machines

In the work the method of designing executive links of mechanisms of parallel structure is proposed. Structural synthesis is based on the use of graphs with the Euler and Hamilton coupling of the cycles that cover the executive. Synthesis of the mechanism is a tool for determining the size of the mechanism and the provisions of its input link in the best way to meet the specified conditions and provide a combination of qualitative indicators of the structure of the system. It assumes the next stage of parametric synthesis of the system. Probability of application of the method of connecting graphs for optimization of structure of mechanisms of parallel structure is proved. Structures can be classified according to the following layout features: the type of rod; by the number of rods; by the nature of the arrangement of hinges on the platform and the base, and others. The author proposes a facet system for the classification of mechanisms of parallel structure, on the basis of which many variants of their structures are shown. The combination of classification characteristics within their variable ranges makes it possible to predict the possibilities of equipment of mechanized assembly shops on the basis of mechanisms of parallel structure. The basis of systematization of factors, taking into account the principles of mobility and the corresponding level of automation, is based on the conditions of system-structural transformation of technology objects. It takes into account the basic law of the existence and development of production systems - the law of expedient unity of integrity. This method is based on the approximation of a continuous function defined in the entire domain of a discrete model by means of continuous functions defined on finite elements. The implementation of this law, the laws and principles proceeding from it, allows us to eliminate the disproportions in the technological system, ensures compliance of the component composition of the system of the entire set (hierarchy) of the goals and the achievement of the most desirable states of production.

The developed approach to improving the structure of machine tools is a promising direction in the design, diagnosis and management of automated machine tools on the basis of mechanisms with a parallel structure.

Надійшла до редакції 22.10.2018